도로조명의 효율적 설치·운영을 위한 조명설계

(Lighting Design for Efficient Installation · Operation of Roadway Lighting)

권기태* · 신상욱 · 이세현 · 노재업 · 최석준 · 이정근 · 서정진 · 이규승 · 황명근
(Ki-Tae Kwon* · Sang-Wuk Shin · Se-Hyun Lee · Jae-Yup Rho · Seok-Joon Choi · Jeong-Keun Lee, Jeong-Jin Seo · Gyu-Seoung Lee · Myung-Keun Hwang)

한국조명기술연구소
Korea Institute of Lighting Technolgy

Abstract

국내외 도로조명 설계기법을 조사, 분석한 것을 바탕으로 시뮬레이션 결과와 비교 검토하였다. 그 결과 평균조도 값은 설계와 큰 차이를 가지고 있지 않았지만 지그재그 배열일 경우 종합균제도 및 차선축균제도가 규정에 만족시키지 못하였다.

1. 서 론

도로조명의 주요목적은 야간에 자동차 운전자나 보행자 등의 도로이용자의 시각환경을 개선하여 안전하고 원활하며, 쾌적하게 도로를 이용할 수 있도록 하는 것이다.

도로 조명시스템은 사용광원, 조명기구, 도로 조건에 따라 그 종류가 매우 다양하게 설계를 하고 있다. 도로의 사용형태, 구조, 차량의 이동량, 주변환경 등에 따라 도로에서 요구하는 기준이 달라지기 때문에 이에 부합하는 조명설계와 운영방식의 변화가 필요하다.

현재 우리나라에서는 KSC 3701 도로조명기준에서 도로 노면의 휘도기준, 종합균제도, 차선축균제도가 설정되어 있으나 실제 조명계산에서는 조도 개념에 기반한 광속법을 이용하여 설계하고 있다. 등기구의 배열 방식은 한쪽배열, 지그재그 배열, 마주보기배열의 3종류가 있으며, 도로 조건에 따라서 적절히 선정해야 한다.

하지만 광속법을 이용한 설계를 할 경우 기구배열 방식에 따라 시뮬레이션 결과와 매우 상의하게 나오고 있다.

본 연구에서는 기구배열 방식에 따라 조도, 종합균제도, 차선축 균제도 등의 몇 가지 기준과 평가지표를 중심으로 여러 가지 도로조명 시스템을 비교, 분석하여 보았다.

2. 본 론

2.1. 관련규격 검토

국가마다 도로조명 설비의 기준은 자국의 경제사정, 인구밀도와 교통혼잡도, 통행규모 등의 여러 요소들을 고려하여 조금씩 다르게 채택하여 적용하고 있으며 국내에서는 한국산업규격 도로조명기준(KS A 3701)을 기본으로 지방자치단체별로 도로의 환경에 따라 조명기준을 적용하고 있다.

따라서 이번 평가에서는 한국산업규격 도로조명기준(KS A 3701)에 따라 시험을 실시하였으며 시공 및 유지보수와 관련된 내용을 포함하였다. 관련된 평가항목 및 기준은 표1, 2와 같다.

표 1. 운전자에 대한 도로조명의 휘도기준

도로조명등급	평균노면휘도(최소허용치) L_{avg}(cd/㎡)	휘도균제도(최소허용치)	
		종합균제도(U_O) L_{min}/L_{avg}	차선축균제도(U_l) L_{min}/L_{max}
M1	2.0	0.4	0.7
M2	1.5	0.4	0.7
M3	1.0	0.4	0.5
M4	0.75	0.4	-
M5	0.5	0.4	-

표 2. 운전자에 대한 도로조명의 조도기준

도로 조명 등급	포장도로 등급별 평균 노면 조도 E_{avg}(lx)(최소허용치)			조도균제도 (최소허용치)	
	R1	R2&R3	R4	종합조도균제도 $(UE_O)E_{min}/E_{avg}$	차선축 조도 균제도 $(UE_l)E_{min}/E_{max}$
M1	20.0	29.0	25.0	0.4	0.7
M2	15.0	22.0	19.0	0.4	0.7
M3	10.0	14.0	13.0	0.4	0.5
M4	8.0	11.0	9.0	0.4	-
M5	5.0	7.0	6.0	0.4	-

2.2. 설계 조건

도로 조명 설계 시 광속법을 이용한 설계와 시뮬레이션의 비교 검토를 위해 일반 적인 도로 조건을 선정하여 그림 1과 같은 도로조명을 설계하였으며, 설계조건은 다음과 같다.

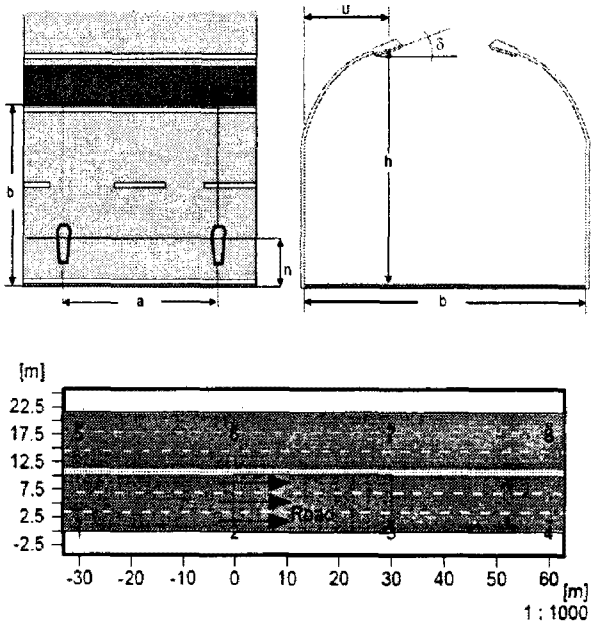

그림 1. 도로조명 설계 조건

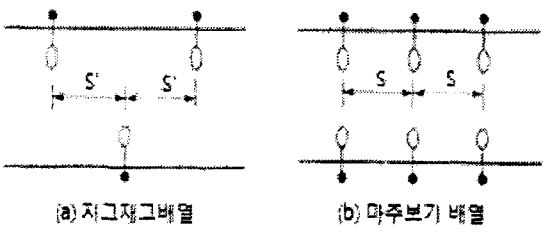

그림 2. 등기구의 배열 방식

그림 2는 본 연구에서 도로 조명 설계 할 등기구 배열방식이다. 지그재그배열에서 경간 S는 등기구와 등기구 사이의 거리 S가 아닌 등기구와 반대편 등기구 사이의 거리 S'이다.

1) 도로 재원

등주높이(h)		10.0 m	10.0 m
조명기구배열		마주보기 배열	지그재그 배열
오버행(u)		2.0 m	2.0 m
경사각도(δ)		5°	5°
기준 조도		22lx	22lx
도로 폭	2차선	7 m	7 m
	3차선	10.5m	10.5m
차선중앙폭		0.5 m	0.5 m
보수율		0.75	0.75

2) 노면 등급
- 노면 등급 : R3
- 휘도 계수(sr^{-1}) : 0.7

3) 설계 속도 : 60km/h

2.3. 설계 기준

1) 광원
- 고압나트륨 250W
- CMH 250W

2) 보수율 : M=0.75

3) 도로조건에 따른 조명 등급
- M2, M3

2.4. 조명 설계

1) 조명률 계산 : 램프광속 중에서 실제 피조명 면적내에 도달하는 전광속이며 광원, 조명기구, 설치 높이 및 도로폭 등에 의하여 계산된다. 고압나트륨, CMH램프용 가로등기구를 선정하여 도로조건에 맞게 조명률을 계산하였다. 표3은 조명률을 계산한 결과 값이다.

표3. 조명률 계산 결과

구분	2차선	3차선
고압나트륨 램프 250W	0.55	0.56
CMH 램프 250W	0.529	0.53

2) 기구 배열에 따른 설치 간격

목표 평균조도 22lx를 기준으로 경간의 거리를 계산한 결과는 표4와 같다.

표4. 조도 광속법을 이용한 설치 간격 설계 결과

구분		2차선	3차선
고압 나트륨 램프 250W	지그재그	42 m	28 m
	마주보기	84 m	56 m
CMH 램프 250W	지그재그	27 m	18 m
	마주보기	54 m	36 m

2.5. 배광데이터 및 시뮬레이션

배광시험은 한국산업규격 배광측정방법(KS C 8009)에 따라 측정하였으며 배광에 사용된 장비는 PSI사의 배광시험기(모델명 LG-2.0)를 사용하였다. 배광측정 후 IES파일로 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 노면휘도 및 조도특성을 평가하였다.

그림 3. 배광시험 및 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용된 소프트웨어는 Relux Pro를 사용하였으며 시뮬레이션 조건은 최초 광속법으로 계산하기 위한 조건과 동일하며 표2에서 나온 결과를 토대로 도로 시뮬레이션 하였다.

도로의 조건은 상하행선이 분리되고 교차부는 모두 입체교차로로서, 출입이 완전히 제한되어 있는 고속의 도로, 자동차 전용도로 또는 고속도로이다. 조명기구의 간격은 2차선(왕복4차선)과 3차선(왕복6차선)으로 나누어 평가하였다.

표5. 2차선(왕복4차선) 시뮬레이션 결과

구분		평균노면휘도 (cd/m^2)	종합균제도 (U_o)	차선축균제도 (U_l)		평균노면조도 (lx)
기준치		1.5이상	0.4 이상	0.7이상		22 이상
				1차선	2차선	
NH 250W	지그재그	1.83	0.29	0.26	0.43	23.1
	마주보기	1.82	0.26	0.21	0.21	23.1
CMH 250W	지그재그	1.45	0.35	0.68	0.56	21.2
	마주보기	1.45	0.34	0.65	0.58	21.2

표6. 6차선(왕복6차선) 시뮬레이션 결과

구분		평균노면휘도 (cd/m^2)	종합균제도 (U_o)	차선축균제도 (U_l)			평균노면조도 (lx)
기준치		1.5이상	0.4 이상	0.7이상			22 이상
				1차선	2차선	3차선	
NH 250W	지그재그	1.88	0.38	0.46	0.54	0.68	25.6
	마주보기	1.89	0.38	0.46	0.54	0.66	25.6
CMH 250W	지그재그	1.53	0.4	0.81	0.73	0.85	24
	마주보기	1.53	0.48	0.76	0.77	0.76	24

먼저 표 5는 조도 광속법을 이용해서 시뮬레이션 한 결과이다. 조도 광속법으로 설계를 할 경우 평균노면조도는 목표치에 부합 되며 KS 규격에서도 합격을 하였으나 종합 균제도, 차선축 균제도 등은 불합격 되었다. 표 6에서는 CMH250W용 가로 등기구에서 모든 규격에 합격하였다. NH250W용 등기구에서는 목표치 조도와 3.6lx이상 차이가 발생하였으며, 종합균제도 및 차선축 균제도는 모두 불합격 되었다.

표7. 차도 폭에 대한 조명기구의 설치높이와 최대 간격

설치높이	차도폭	6 ~ 7		9 ~ 10.5		12 ~ 14	
	조명기구 / 배열	컷오프형	세미컷오프형	컷오프형	세미컷오프형	컷오프형	세미컷오프형
8	한쪽	24	28	-	-	-	-
	지그재그	24	28	24	-	-	-
	마주보기	-	-	28	28	24	-
10	한쪽	30	35	-	-	-	
	지그재그	30	35	30	35	-	-
	마주보기	-	-	35	40	30	35
12	한쪽	42	48	36	42	-	-
	지그재그	-	-	36	42	36	42
	마주보기	-	-	42	48	42	48

표8. KS C 7658 LED가로등 및 보안등기구의 안전 및 성능 요구사항

설치높이	차도 폭	2차선	3차선	4차선
8	한쪽	24	-	-
	지그재그	24	24	-
	마주보기	-	28	24
10	한쪽	30	-	-
	지그재그	30	30	-
	마주보기	-	35	30
12	한쪽	42	36	-
	지그재그	-	36	36
	마주보기	-	42	42

표 7은 건설교통부 '도로조명시설편' 2008년 지침서에서 발취한 내용이다. 또한 서울시 도로시설관리 지침서에도 이와 동일한 내용이 기재되어 있다. 지그재그 배열과 마주보기 배열의 간격 차이는 10m 기준시 5m가 차이가 난다. 하지만 표5와 표6의 결과를 유추해 본다면 지그재그 배열의 마주보기 배열은 2배 차이가 나며, 지그재그배열일 경우 균제도는 떨어진다. 또한 표8에서는 LED 가로등 및 보안등기구의 안전 및 성능 요구사항에서 설치높이와 최대 간격에 대한 규격이다. 등기구에서 가지고 있는 빛이 퍼지는 정도는 일정하게 규정되어 있어 지그재그배열시 경간이 넓으면 종합균제도 및 차선축 균제도는 저하됨으로 도로조명설계시 고려해야 한다.

3. 결 론

국내외 도로조명기구를 선택하여 조도 광속법으로 설계하고 같은 조건에서 시뮬레이션을 한 결과들을 살펴보았다. 조도 광속법의 최대 단점은 종합균제도 및 차선축 균제도 등 피사체를 식별하여 안전운전을 할 수 있는 정보들을 얻을 수 없다. 하지만 아직까지도 대부분의 설계를 광속법으로 이루어지고 있는 것이 현실이다. 또한 지그재그 배열에 관한 규정들은 수정이 필요하다.

도로조명설계를 할 경우 도로조건에 따라 먼저 광원 및 용량 선정이 중요하며 종합균제도 및 차선축균제도의 정보를 얻기 위해 시뮬레이션 통한 검증이 필요 할 것을 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 여인선, "도로조명의 설계", 한국조명·전기설비학회지, 제12권 제1호, 1998.3, pp.13~27

[2] 조덕수, 석대일, 정승균, 강진규, 김훈, "국내외 도로조명기구의 성능평가 시뮬레이션", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, 2006, 11.

[3] 한국표준협회, 도로조명기준, KS A 3701-2007, 2007

[4] 한국조명기술연구소, "도로조시설의 효율적 설치·운영을 위한 연구용역 최종보고서" 2009. 04.

[5] 한국표준협회 LED가로등 및 보안등기구의 안전 및 성능 요구사항, KS C 7658, 2009